

IoT 센서를 이용한 블록체인 기반 식품 공급망 개발

심재익*, 김왕록*, 전미현*, 오동의*, 정병규**, 신상욱*

*부경대학교 IT융합응용공학과

**부경대학교 대학원 정보보호학과

wodlr2007, korgnawmik, jmh3850@naver.com, deo1915@gmail.com,

holine0622@pukyong.ac.kr, shinsu@pknu.ac.kr

Development of Blockchain-based Food Supply Chain Using IoT Sensors

Jae-Ik Sim*, Wang-Rok Kim*, Mi-Hyeon Jeon*, Dong-Eui Oh*,

Byeong-Gyu Jeong**, Sang Uk Shin*

*Dept. of IT Convergence and Application Engineering, Pukyong National University

**Dept. of Information Security, Graduate School, Pukyong National University

요 약

현 식품 공급망은 중앙 집중화되어 있고, 투명하지 않으며 복잡한 시스템으로 인해 많은 문제점이 존재한다. 판매자는 싼값에 팔고 소비자는 비싼 값에 구매하는 문제가 지속적으로 대두되고 있으며 유통 과정에서 생기는 문제에 대한 책임 추적이 어렵다. 본 논문에서는 각 유통 단계에서 생성되는 IoT 센서 데이터를 블록체인 기술에 적용하며 이를 활용하는 방안에 대해 제안한다. 제안 모델을 통해 유통 과정과 데이터에 대한 신뢰성을 확보하고 제품의 원산지, 배송 과정, 보관 상태를 비롯한 유통 정보들을 추적할 수 있다.

1. 서론

현재의 식품 공급망은 중앙 집중화되어 있고, 투명하지 않은 시스템으로 인해 많은 문제점이 존재한다. 그 예로 2018년 5월 미국 캘리포니아 로메인 상추 대장균 검출 사건이 있다. 이는 복잡한 유통과정 때문에 책임 추적이 있어서 2주 이상의 시간이 소요됐다[1]. 이러한 식품 공급망 때문에 상품에 대한 신뢰성을 확보하기 어렵고, 판매자는 싼값에 팔고 소비자는 비싼 값에 구매하는 문제가 지속적으로 대두되고 있다.

블록체인은 탈중앙화라는 특성을 가지고 있어 신뢰기관 없이 거래가 가능하다[2]. 또한 거래 정보를 다수가 공동으로 관리하는 구조로써 거래에 대한 신뢰성과 투명성을 보장한다. 이러한 블록체인을 현 식품 공급망에 적용한다면 거래에 대한 신뢰도를 높일 수 있다. 또한 제품의 출처, 배송 과정, 보관 상태 등에 대한 유통 정보들을 투명하게 공유할 수 있고 유통 과정에서 문제가 발생했을 경우 신속하게 추적할 수 있다.

본 논문에서는 허가형 프라이빗 블록체인 플랫폼인 하이퍼레저 패브릭(Hyperledger Fabric)을 채택하여

블록체인 기반 식품 공급망을 제안한다. 하이퍼레저 패브릭의 채널을 활용해 동일한 비즈니스 목적을 가진 허가 받은 참여자만 데이터를 공유할 수 있다[3]. 이로 인해 데이터에 대한 프라이버시를 보장하고 암호화해 없이 합의를 이룰 수 있다. 또한 ‘최초 1마일’의 문제를 해결하기 위해 IoT 센서를 라즈베리파이가 전처리하고 하이퍼레저 패브릭의 체인코드에 의해 올바른 데이터만 자동 저장되도록 한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로 하이퍼레저 패브릭에 대해 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 모델의 구성과 데이터 처리에 대해 설명하고, 4장에서 제안 모델에 대해 분석한다. 마지막으로 5장은 본 논문의 결론이다.

2. 하이퍼레저 패브릭

하이퍼레저 패브릭은 허가형 프라이빗 블록체인으로써, MSP(Membership Service Provider)라고 하는 인증 관리 시스템에 등록된 사용자들만 네트워크에 참여할 수 있다[3]. 참여자들은 비즈니스 목적에 알맞은 형태로 블록체인 플랫폼을 구축할 수 있으며 적합한 블록 생성 알고리즘이나 트랜잭션 보증 정책을 직접 구현할 수 있다. 하이퍼레저 패브릭에서는

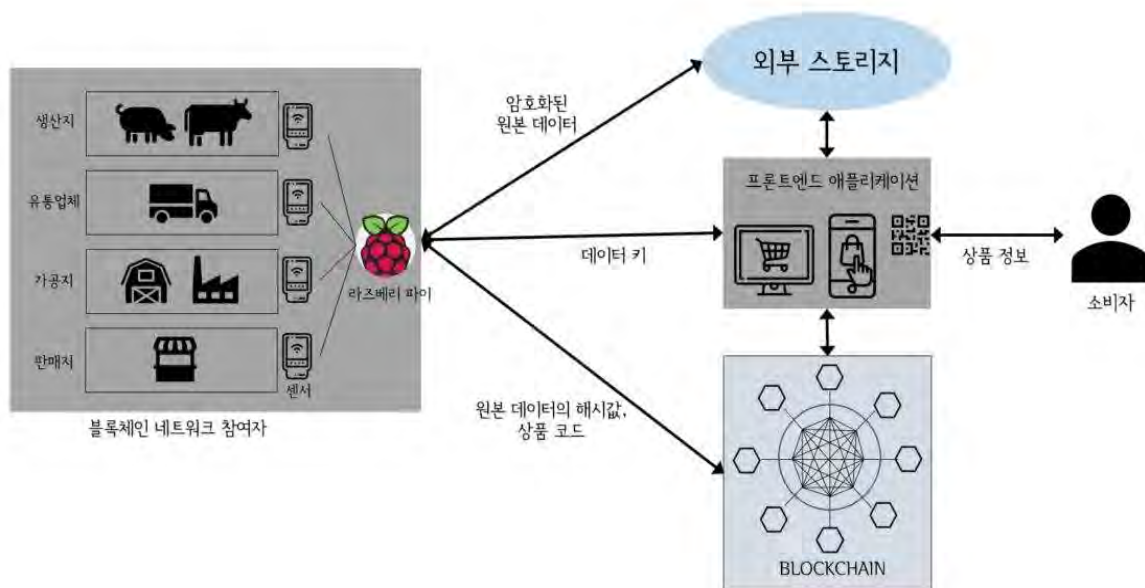
기존 블록체인과 달리 스마트 컨트랙트를 체인코드라고 하며 블록이 생성되고 연결되기까지 실행(Execute), 정렬(Order), 검증(Validation)의 단계를 합친 과정이라고 정의한다.

하이퍼레저 패브릭 네트워크는 MSP, 오더러, 피어로 구성되며, 이들은 채널을 이용하여 통신을 수행한다. 피어는 분산원장과 체인코드를 저장, 실행하는 엔티티이다. 블록체인의 참여자는 피어에 설치된 체인코드를 호출하여 분산원장에 저장된 정보에 접근할 수 있다. 채널은 그룹 간 커뮤니케이션을 가능하게 하는 메커니즘으로 각 채널마다 하나의 분산원장이 존재한다. 이로 인해 기업간의 데이터 프라이버시 보호를 유지할 수 있다. 오더링 서비스(Ordering Service)는 블록 내 트랜잭션의 순서를 정하고 연결된 노드들에게 블록을 전달하는 기능을 한다. 오더러(Orderer)는 오더링 서비스의 주체이며 트랜잭션을 시간 순으로 정렬한 후 최신 블록을 생성한다. MSP는 하이퍼레저 패브릭의 멤버십 관리 기술이며 이를 통해 조직(그룹)의 구조를 설계한다. MSP를 이용하여 참여자들의 권한을 관리하며 디지털 증명서를 발급하는 기능을 수행한다.

3. 제안 모델

본 절에서는 IoT 센서 데이터 처리 방법과 제안 모델의 구조와 특징, 그리고 블록체인 네트워크 구성에 대해 설명한다.

3.1 IoT 센서 데이터 처리



(그림 1) 블록체인 네트워크 구조

유통과정에서 생산지, 가공지, 운송, 판매지에는 IoT 센서가 설치되어 있고 외부의 공격으로부터 안전하다고 가정한다. 생성되는 IoT 센서 데이터의 종류에는 온도, 시간, 위치, 상품 등급, 담당자 정보, 가격, 상품 코드 등이 있다. 유통과정의 각 단계들마다 조금씩 다르게 생성되는 데이터들은 엣지 컴퓨팅이 가능한 라즈베리파이로 수집되고 하나의 트랜잭션으로 생성된다. 블록체인 시스템 계산능력의 과부하를 방지하고 트랜잭션 포맷을 맞추기 위해 라즈베리파이에서 전처리 작업을 수행한다.

기존 공급망 블록체인은 ‘최초 1마일 문제’, 즉 블록체인과 사람이 접촉하는 지점에서 생기는 데이터 신뢰성에 대한 문제가 있다[4]. 제안 모델은 이를 위해 IoT 센서 데이터의 자동입력을 통해 해결한다. IoT 센서에 대한 물리적인 보안과 중간 매개체 역할을 하는 라즈베리파이에 대한 시스템 보안, 데이터를 전송하는 네트워크 보안, 데이터를 처리하는 블록체인의 신뢰가 보장되어야 한다.

3.2 블록체인 네트워크

[그림 1]은 블록체인 네트워크의 구조를 나타낸다.

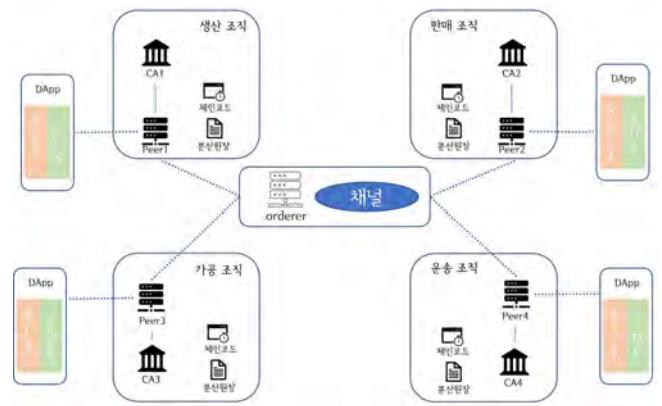
블록체인 시스템 참여자는 식품 유통과정의 각 단계를 표현한 생산지, 가공지, 운송업체, 판매지이다. 각 시스템 참여자들은 하나의 채널로 연결되고, 유통 데이터를 공유한다. 시스템에 참여하기 위해 하이퍼레저 패브릭 MSP로부터 인증을 받아야 한다. 상품을 구매하는 소비자는 블록체인 시스템에 참여하지 않는 클라이언트이다. 따라서 소비자는 블록체

인에 저장된 데이터에 접근할 수 없으며, 체인코드에 의해 지정된 데이터만 별도의 애플리케이션을 통해 확인할 수 있다. 왜냐하면 블록체인에는 추적을 위한 각 단계의 담당자 개인정보가 있는데, 이는 외부로부터 보호되어야 하기 때문이다. 소비자는 상품에 있는 QR코드를 통해 이러한 애플리케이션에 접근이 가능하고, 애플리케이션은 블록체인에 저장된 상품코드를 추적하여 상품의 신뢰성을 판단할 수 있는 최소한의 데이터만 제공한다.

블록체인은 비가역적이다[2]. 따라서 블록체인 시스템 설계에 있어서 높은 전송률과 성능 향상을 위해 블록체인에 저장되는 데이터의 크기는 매우 중요한 요소이다[2]. 제안 모델에서는 최소한의 데이터만 블록체인에 저장하며 용량이 큰 원본 데이터는 외부 스토리지에 저장하는 방식을 취했다. 여기서 외부 스토리지는 클라우드 스토리지이다. 외부 스토리지에는 IoT 센서로부터 생성된 모든 데이터를 암호화해서 저장한다. 암호화에 사용되는 키는 하이퍼레저 패브릭 MSP에 의해 블록체인 시스템의 참여자인지 확인하고 프론트엔드 플랫폼을 통해 분배된다. 여기서 키는 공개키 기반 구조로써 데이터 암호화뿐만 아니라 데이터의 소유권을 주장할 수 있는 디지털 서명의 기능을 한다. 블록체인에는 외부 스토리지에 저장된 원본 데이터의 위치와 무결성 검증을 위한 해시값, 그리고 추적을 위한 상품 코드가 저장된다. 이렇게 데이터를 분리 저장함으로써 데이터에 대한 프라이버시 보호와 안정성을 기여할 수 있다.

4. 제안 모델 개발 및 분석

기존 공급망 관련 블록체인 모델은 [5], [6] 등이 제안되었다. 기존 모델과는 다르게 제안 모델은 ‘최초 1마일’의 문제를 해결할 수 있는 방안과 프라이빗 블록체인에서 상품을 구매하는 소비자와 같은 외부 개체들에 대한 데이터 제공 방법을 제안한다. 또한, 블록체인 네트워크 참여자의 프라이버시 보호를 위해 블록체인과 외부 스토리지로 저장기능을 분리하고, 블록체인에 저장되는 데이터에 대한 프라이버시 보호를 위해 공개키 기반 구조로 암호화하여 저장한다. 거래 당사자의 신뢰성을 위해 이미 인증되고 검증된 노드들만 참가하는 허가형 프라이빗 블록체인을 채택한다. 이로 인해 소비자들은 식품을 구매하는데 있어 신뢰성을 확보할 수 있다. 또한 식품 유통과정 중 발생한 제품 손상이나 사고에 대한 책임 추적도 가능하다.



(그림 2) 하이퍼레저 패브릭 네트워크 구조

하이퍼레저 패브릭 네트워크에는 생산, 가공, 판매, 운송의 4개의 조직이 있으며 각 조직에는 한 개의 peer가 있다고 가정한다. [그림 2]는 하이퍼레저 패브릭 네트워크 구조를 나타낸다. 각 피어는 하나의 채널을 통해 데이터를 공유하고 있으며 동일한 분산 원장을 보유하고 있다. 각 피어들은 DApp(Distributed Application)을 통해 트랜잭션을 생성하고 Orderer 노드에게 전달한다. Orderer 노드는 트랜잭션들을 정렬하고 블록을 생성하면 다시 각 조직의 peer에게 블록을 전달한다. 각 조직의 peer는 받은 블록을 검증하여 각자 보유한 분산원장에 블록을 연결한다.

프론트엔드 개발은 VScode 1.44 버전, 센서 데이터 저장 서버로 ThingSpeak 클라우드 서버와 웹페이지 서버로 netlify를 사용하고 개발 언어로는 HTML 5.0, CSS 2.1, Javascript 1.5 버전을 사용했다. 판매자의 각 상품마다 붙어있는 QR코드를 인식하면 [그



(그림 3) 프론트엔드 웹 애플리케이션

럼 3]과 같은 웹 애플리케이션이 실행된다. 이를 통해 소비자 평점과 식품의 신선도 변화를 수치 및 그래프로 확인할 수 있다.

해당 모델의 전체적인 보안 매커니즘은 블록체인 사용에 기인한다. 데이터 해시를 통해 무결성을 보장한다. 원본 데이터의 해시값이 블록체인에 저장되어 있기 때문에 데이터 참여자는 원본 데이터에 대한 무결성을 검증할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 IoT를 이용한 블록체인 기반 식품 공급망 모델을 제안하고 적용 방안을 제시했다. 블록체인의 무결성, 안전성, 투명성, 추적성이라는 특징은 안전하고 신뢰성 있는 식품 유통을 가능하게 하고 QR코드를 통해 네트워크 참여자가 아닌 소비자의 블록체인 데이터를 확인할 수 있게 했다. 따라서 소비자들도 안심하고 제품을 구매할 수 있으며 시스템 참여자들은 유통시 발생하는 제품 손상이나 사고에 대한 책임 추적도 가능하다. IoT 센서 데이터를 이용한 자동화된 트랜잭션 처리로 저장되는 데이터에 대한 신뢰성을 달성할 수 있다. 이로 인해 기존 공급망 블록체인에 존재했던 ‘최초 1마일’의 문제를 해결한다. 블록체인 플랫폼으로 허가형 프라이빗 블록체인인 하이퍼레저 패브릭을 채택함으로써 사용자 프라이버시를 보호하고 저장 공간을 블록체인 및 외부 스토리지로 분리함으로써 데이터 프라이버시 보호 및 저장의 효율성을 극대화했다.

향후 운송단계에서의 데이터 전송을 위한 무선 네트워크 환경을 구축하고 IoT 센서와 라즈베리파이의 물리, 시스템 보안구현이 연구 과제로 남아있다.

Acknowledgments

이 논문은 2020년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (미래수산물 연구센터)

참고문헌

- [1] Astill, G. M., Kuchler, F., Todd, J. E., & Page, E. T. "Shiga Toxin - Producing Escherichia coli (STEC) O157: H7 and Romaine Lettuce: Source Labeling, Prevention, and Business." *American Journal of Public Health*, 110(3), 322-328, 2020.
- [2] Viriyasitavat, W., & Hoonsopon, D. "Blockchain characteristics and consensus in modern business processes." *Journal of Industrial Information Integration*, 13, 32-39, 2019.
- [3] Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., De Caro, A., ... & Muralidharan, S. "Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains" In *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference*, 1-15, 2018.
- [4] 커넥팅랩, 블록체인 트렌드 2020, 비즈니스북스, 2019.
- [5] Ren, C, Shao, B., Sun, N., & Zhang, B. "Blockchain-based food product shelf-life management." *U.S. Patent Application No. 15/380,476*, 2018.
- [6] Baralla, G., Ibba, S., Marchesi, M., Tonelli, R., & Missineo, S. "A blockchain based system to ensure transparency and reliability in food supply chain." *European conference on parallel processing*. Springer, Cham, 379-391, 2018.